

Verfahren zum Plasmaätzen von Silizium

Publication number: DE19919469

Publication date: 2000-11-02

Inventor: LAERMER FRANZ (DE); SCHILP ANDREA (DE); ELSNER BERNHARD (DE)

Applicant: BOSCH GMBH ROBERT (DE)

Classification:

- **International:** H01L21/302; H01L21/3065; H01L21/02; (IPC1-7): C23F4/00

- **European:** H01L21/3065

Application number: DE19991019469 19990429

Priority number(s): DE19991019469 19990429

Also published as:



WO0067307 (A1)



EP1095400 (A1)



US7166536 (B1)



EP1095400 (A0)

Report a data error here

Abstract of DE19919469

The invention relates to methods for the plasma etching, notably the anisotropic plasma etching, of laterally defined structures in a silicon substrate using a process gas. According to the invention before and/or during etching at least one passivating material is deposited at least temporarily on the side walls of laterally defined structures. According to a first method at least one compound chosen from the group comprising ClF₃, BrF₃ or IF₅ is added to the process gas as fluorine-yielding etching gas. According to a second method NF₃ is at least temporarily added to the process gas as an additive which consumes the passivating material. According to a third method, a light and readily ionized gas, notably H₂, He or Ne, is at least temporarily added to the process gas. The above three methods can also be combined.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



⑯ Offenlegungsschrift
⑯ DE 199 19 469 A 1

⑯ Aktenzeichen: 199 19 469.6
⑯ Anmeldetag: 29. 4. 1999
⑯ Offenlegungstag: 2. 11. 2000

⑯ Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑯ Erfinder:
Laermer, Franz, Dr., 70437 Stuttgart, DE; Schilp, Andrea, 73525 Schwäbisch Gmünd, DE; Elsner, Bernhard, 70806 Kornwestheim, DE

⑯ Entgegenhaltungen:
DE 197 06 682 C2
DE 42 41 045 C1
DE 343 17 623 A1
DE 196 41 288 A1
DE 42 02 447 A1
EP 04 14 373 A2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ Verfahren zum Plasmaätzen von Silizium

⑯ Es werden Verfahren zum Plasmaätzen, insbesondere zum anisotropen Plasmaätzen, von lateral definierten Strukturen in einem Siliziumsubstrat unter Verwendung eines Prozeßgases vorgeschlagen. Dabei wird vor und/oder während des Ätzens auf den Seitenwänden von lateral definierten Strukturen zumindest zeitweilig ein passivierendes Material abgeschieden. In einem ersten Verfahren wird vorgeschlagen, dem Prozeßgas als fluorlieferndes Ätzgas mindestens eine der Verbindungen, ausgewählt aus der Gruppe ClF_3 , BrF_3 oder IF_5 zuzusetzen. In einem zweiten Verfahren wird dem Prozeßgas zumindest zeitweilig als das passivierende Material verzehrendes Additiv NF_3 zugesetzt. Schließlich wird in einem dritten Verfahren dem Prozeßgas zumindest zeitweilig ein leichtes und leicht ionisierbares Gas, insbesondere H_2 , He oder Ne , zugesetzt. Die drei vorgeschlagenen Verfahren können auch kombiniert werden.

Beschreibung

Stand der Technik

Die Erfindung betrifft Verfahren zum Plasmaätzen, insbesondere zum anisotropen Plasmaätzen, von Silizium nach der Gattung der unabhängigen Ansprüche.

Stand der Technik

Aus DE 197 06 682 C2 ist ein Verfahren zum anisotropen Hochratenplasmaätzen von Silizium bekannt, wobei zur Seitenwandpassivierung als passivierendes Material SiO_2 verwendet wird, das aus dem Zusatz von SiF_4 und O_2 zur eigentlichen Ätzchemie von SF_6 gebildet wird. Gleichzeitig werden dem Ätzgas als SiO_2 -verzehrende Additive ("Scavenger") kontinuierlich oder getaktet CHF_3 , CF_4 oder C_4F_8 zugesetzt, um auf dem Strukturgrund befindliches SiO_2 selektiv abzutragen.

Ein weiteres Hochratenätzverfahren für Silizium wird beispielsweise in DE 42 41 045 C2 vorgeschlagen, wobei eine hochdichte Plasmaquelle mit induktiver Hochfrequenzanregung (ICP-Quelle) oder einer speziellen Mikrowellenanregung (PIE-Quelle) dazu benutzt wird, um aus einem fluorliefernden Ätzgas Fluorradikale und aus einem teflonbildende Monomere liefernden Passiviergas (CF_2)_x – Radikale freizusetzen, die ein teflonartiges, passivierendes Material bilden, wobei Ätz- und Passiviergas alternierend eingesetzt werden.

Schließlich ist aus der Anmeldung DE 43 17 623 A1 bekannt, ein Gemisch aus SF_6 oder einem anderen fluorliefernden Ätzgas und CHF_3 oder einem anderen, teflonartige Monomere bildenden Passiviergas, einem hochdichten Plasma auszusetzen, so daß die Fluorradikale den Siliziumstrukturgrund ätzen und gleichzeitig die teflonartige Monomere ein passivierendes Material auf den Strukturseitenwänden bilden, und somit für ein anisotropes Verhalten des Ätzprozesses sorgen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, bestehende Plasmaätzverfahren für Silizium dahingehend zu verbessern, daß durch Einsatz neuer Prozeßgase höhere Ätzraten, geringere Profilabweichungen beim Ätzen und eine bessere Umweltverträglichkeit des Prozeßgases gewährleistet sind.

Vorteile der Erfindung

Die erfindungsgemäßen Verfahren mit den kennzeichnenden Merkmalen der unabhängigen Ansprüche haben gegenüber dem Stand der Technik den Vorteil, daß damit eine Verbesserung der Profilkontrolle und eine höhere Ätzrate bei Plasmaätzverfahren von Silizium, insbesondere bei anisotropen Hochratenplasmaätzverfahren, erreicht wird. Gleichzeitig sind die eingesetzten Prozeßgase insbesondere hinsichtlich des Treibhauseffektes wesentlich umweltverträglicher als bisher eingesetzte Ätzgase oder Additive und damit auch langfristig verfügbar.

Weiterhin werden bei der Verwendung der fluorliefernden Ätzgase ClF_3 , BrF_3 oder IF_5 schon bei relativ geringer Plasmainregung große Fluormengen freigesetzt, so daß diese sehr effizient hinsichtlich der Anregung und der erreichten hohen Siliziumätzraten sind und gleichzeitig nur geringe Anforderungen an den Leistungsbedarf einer beispielsweise induktiven Plasmaquelle oder einer Mikrowellen-Plasmaquelle stellen. Weiterhin ist sehr vorteilhaft, daß insbesondere ClF_3 beim Zerfall zu ClF oder BrF_3 beim Zerfall zu BrF leichter und in größerer Zahl Fluorradikale freisetzt, als das bekannte SF_6 über dessen vorrangigen Zerfallskanal zu SF_4 . Überdies benötigt die Reaktion von ClF_3 zu ClF und 2F^*

bzw. BrF_3 beim Zerfall zu BrF und 2F^* auch eine sehr viel geringere Aktivierungsenergie als die Reaktion von SF_6 zu SF_4 und 2F^* . Somit treten infolge geringerer benötigter Hochfrequenz- bzw. Mikrowellenleistungen an der Plasmaquelle zur Erzeugung der benötigten großen Fluorradikalmengen dort sehr vorteilhaft auch weniger Störeffekte auf, die im weiteren die erzeugten Ätzprofile beeinträchtigen könnten.

Weitere Vorteile resultieren aus der Tatsache, daß bei Verwendung von Interhalogenfluoriden als fluorliefernde Ätzgase keine Schwefelausscheidungen im Abgasbereich der Ätzanlage auftreten können, die andernfalls beseitigt bzw. unterdrückt werden müssen.

Schließlich sind insbesondere ClF_3 und BrF_3 chemisch instabil und hydrolyseren an Luft mit der Luftfeuchtigkeit leicht zu HF und HCl bzw. HBr . Daher entsteht mit diesen Verbindungen oder Gasen kein Treibhauseffekt, so daß ihre großtechnische Verfügbarkeit unter Umweltgesichtspunkten auch langfristig gesichert ist, was beispielsweise für SF_6 nicht uneingeschränkt gilt.

Das als das passivierende Material, insbesondere SiO_2 oder ein teflonartiges Material, verzehrende Additiv im Prozeßgas zeitweilig eingesetzte NF_3 hat gegenüber aus dem Stand der Technik bekannten Additiven auf Basis von Fluorkohlenstoff-Verbindungen den Vorteil, daß ein wesentlich stärkerer Abtrag von dielektrischen Schichten, die den Strukturgrund maskieren, erreicht wird, so daß dieses im jeweiligen Plasmaätzverfahren in gegenüber bekannten Additiven deutlich geringerer Menge eingesetzt werden muß und damit auch insgesamt geringere negative Auswirkungen auf den Gesamtprozeß, insbesondere hinsichtlich einer damit zwangsläufig verbundenen Verdünnung der übrigen aktiven Reaktanten, hat.

Weiter hat das Additiv NF_3 im Gegensatz zu Fluorkohlenwasserstoffen (CHF_3 , CF_4 , C_3F_6 , C_4F_8 , C_2F_6 usw.) dank schwacher Hydrolysewirkung eine relativ kurze Lebensdauer an Luft, so daß ebenfalls kein Treibhauseffekt auftritt. NF_3 wird in der Atmosphäre bereits nach kurzer Zeit durch Luftfeuchtigkeit gebunden. Im Gegensatz zu den als Treibhausgasen wirkenden Fluorkohlenwasserstoffen ist also auch hier die großtechnische Verfügbarkeit langfristig gesichert.

Die Zugabe eines leichten und leicht ionisierbaren Gases, d. h. eines Gases mit geringer Atommasse, wie He , H_2 oder Ne , aus dem leicht positiv geladene Ionen erzeugbar sind, zu dem Ätzgas hat den Vorteil, daß damit Aufladungseffekte, die sich insbesondere an Übergängen zwischen dem elektrisch leitfähigen Silizium und elektrisch isolierenden Dielektrika, die beispielsweise als Maskenmaterial oder vergrabene Opferschichten verwendet werden, störend bemerkbar machen, erheblich vermindert werden. Somit wird eine deutliche Profilverbesserung der erzeugten Ätzprofile, insbesondere beim Übergang von Silizium auf eine vergrabene Oxidschicht, eine Polymerstoppschicht oder am Maskenrand, d. h. am Übergang von der dielektrischen Maskierschicht (Photolack oder Hartstoffmaske aus SiO_2) zu dem zu ätzenden Silizium, erzielt.

Dieser Aufladungseffekt beruht darauf, daß negativ geladene Elektronen, die ungerichtet auf die Waferoberfläche einwirken, vorzugsweise auf den Seitenwänden der zu ätzenden Struktur landen, so daß die Seitenwände relativ zum Ätzgrund negativ aufgeladen werden. Innerhalb des elektrisch leitfähigen Siliziums sind diese Elektronen weitgehend frei beweglich, während auf dem elektrisch isolierenden Ätzgrund befindliche positiv geladene Ionen dort fixiert sind. Insgesamt ziehen somit die beweglichen Elektronen in die Übergangszone zwischen Silizium und Dielektrikum, so daß dort große elektrische Feldstärken entstehen, die im sta-

tionären Fall schließlich dazu führen, daß im Mittel genauso viele Ionen zur Seitenwand gelangen, wie zuvor Elektronen, weil sie von entsprechend großen elektrischen Feldern zur Seitenwand abgelenkt werden. Dieser Effekt ist als "Notching Phänomen" in die Literatur eingegangen und führt zur Ausbildung großer, in die Seitenwand eingeätzter Taschen.

Die Zugabe eines leichten, leicht ionisierbaren Gases wie beispielsweise He verhindert diese Taschenbildung sehr vorteilhaft erheblich.

Ein anderes Problem, das auf elektrische Aufladungsefekte zurückzuführen ist, und das durch die Zugabe des leichten, leicht ionisierbaren Gases ebenfalls gelöst wird, tritt am oberen Maskenrand auf. Die Oberfläche einer dielektrischen Maskierschicht auf dem Siliziumwafer wird durch sogenanntes "Self-Biasing" vielfach als Folge einer an einer üblichen Substrat elektrode angelegten hochfrequenten Spannung negativ aufgeladen ("DC-Bias"). Diese Aufladung erklärt sich aus der unterschiedlichen Beweglichkeit von Elektronen und Ionen, d. h. um im Zeitmittel genauso viele der unbeweglicheren Ionen wie der hochbeweglichen Elektronen zur Oberfläche zu ziehen, muß sich dort eine negative elektrische Vorspannung aufbauen. Wird nun in den Öffnungen einer Maskierschicht in das Silizium hineingeätzt, führen diese Aufladungen der Oberfläche gegenüber der neu erzeugten Siliziumseitenwand zur Konzentration von Elektronen im Übergang von Silizium zur dielektrischen Maskierschicht. Durch Ionenablenkung werden daher verstärkt Ionen in diesen oberen Teil des geätzten Silizium-trenchgrabens gelenkt, was dort ebenfalls zur Ausbildung von Profilunregelmäßigkeiten oder Taschen führt. Schließlich hat die Zugabe eines leichten, leicht ionisierbaren Gases zu dem Ätzgas den Vorteil, daß der aus DE 42 41 045 bekannte Seitenwandfilmtransportmechanismus dahingehend verbessert wird, daß mehr Polymerabtrag vom Ätzgrund und weniger Polymerabtrag von den Seitenwänden erfolgt, die Selektivität also verbessert wird.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den in den Unteransprüchen genannten Maßnahmen.

So ist es besonders vorteilhaft, daß die erfundungsgemäßen Verfahren auch untereinander kombiniert werden können, wobei die Vorteile der einzelnen Verfahren jeweils weitgehend erhalten bleiben. Im übrigen kann es vorteilhaft sein, dem Ätzgas, dem das passivierende Material bildenden Gas, insbesondere dem SiF₄, dem Additiv oder einem als Reaktionspartner verwendeten Gas wie beispielsweise Sauerstoff, Stickstoff, Kohlendioxid oder einem Stickoxid zusätzlich zur Verdünnung Argon zuzusetzen.

Insgesamt hängt bei den beschriebenen Mechanismen die Größe der elektrischen Felder, die benötigt werden, um das dynamische Gleichgewicht zwischen Ionen- und Elektroneineinfall herzustellen, unmittelbar davon ab, wie leicht sich ankommende Ionen durch elektrische Felder ablenken lassen. Es ist daher offensichtlich, daß relativ schwere Ionen erst durch relativ große Felder abgelenkt werden, während relativ leichte Ionen schon bei relativ kleinen Feldstärken abgelenkt werden und den Ladungsausgleich vollziehen können. Durch das Einbringen einer Ionensorte von kleiner Atommasse wird insofern sehr vorteilhaft erreicht, daß sich nur noch kleine Feldstärken in den beschriebenen Bereichen aufbauen und bereits bei diesen kleinen Feldstärken genügend viele der leichten Ionen so abgelenkt werden, daß sie den Ladungsausgleich vollziehen können.

Die ebenfalls im Ätzverfahren, beispielsweise als ionisierte Moleküle oder Molekülbruchstücke des Ätzgases oder Additives, auftretenden schweren Ionen werden aufgrund ihrer Masse und damit verbundenen Trägheit von diesen elektrischen Feldern nicht mehr abgelenkt, sondern fliegen

ungehindert durch bis zum Ätzgrund, wo sie vorteilhaft beispielsweise eine Ätzreaktion oder einen Ätzgrundpolymerabtrag vorantreiben können. Es findet somit durch die Zugabe des leichten, leicht ionisierbaren Gases insgesamt sehr vorteilhaft eine Trennung zwischen leichten Ionen, welche den Ladungsausgleich durchführen, und schweren Ionen statt, welche vorzugsweise auf den Ätzgrund einwirken.

Neben dem Edelgas Helium als leichtes Gas ist bei einigen Plasmaätzprozessen auch die Verwendung von Wasserstoff (H₂) vorteilhaft, sofern dieser mit der Prozeßchemie verträglich ist. Wasserstoff hat als Molekül in ionisierter Form eine Atommasse von lediglich 2 und dissoziert überdies im Plasma besonders leicht zu positiv geladenen Atomen mit der Atommasse 1.

15

Ausführungsbeispiele

Das erste Ausführungsbeispiel geht zunächst vom einem anisotropen Plasmaätzprozeß mit einer hochdichten Plasmaquelle, beispielsweise einer ICP-Plasmaquelle, einer ECR-Plasmaquelle oder einer PIE-Plasmaquelle aus, wie er aus DE 197 06 682 C2 bekannt ist.

Anstelle des dort eingesetzten fluorliefernden Ätzgases SF₆ oder NF₃ wird jedoch dem Prozeßgas als Ätzgas in einem ersten Ausführungsbeispiel gasförmiges Chlortrifluorid ClF₃, Bromtrifluorid BrF₃ oder Iodpentafluorid IF₅ oder eine Mischung dieser Gase zugesetzt. Bevorzugt wird Chlortrifluorid oder Bromtrifluorid eingesetzt, das direkt über einen Massenflußregler zugeführt werden kann, da es einen ausreichend hohen Dampfdruck besitzt. Im Fall der Verwendung von flüssigen Bromtrifluorid wird zu dessen Überführung in die Gasphase dessen Temperatur vorzugsweise auf oberhalb von 20°C gehalten. Es ist dabei weiter möglich, zusätzlich in an sich bekannter Weise ein inertes Trägergas, beispielsweise Argon, beizumischen. Anstelle von Argon kann auch Helium verwendet werden.

Weiter werden die aus DE 197 06 682 C2 bekannten SiO₂-verzehrenden Additive (CHF₃, CF₄, C₂F₆ usw.) durch Stickstofftrifluorid NF₃ ersetzt, das dem Prozeßgas kontinuierlich oder bevorzugt getaktet zugesetzt wird. Dieses Additiv dient insbesondere einer beschleunigten Entfernung des passivierenden Materials vom Ätzgrund.

NF₃ zerfällt unter nicht zu intensiver Plasmaanregung, d. h. typischen ICP-Anregungsbedingungen, vorrangig in radikalische Bruchstücke NF_x (mit x = 1, 2), welche äußerst aggressiv gegenüber dielektrischen Materialien reagieren und somit beispielsweise gegenüber SiO₂, SiN, SiO_xN_y (Siliziumoxynitrid) oder teflonartigen Materialien als sehr effiziente abtragende Reaktionspartner wirken.

Die dabei gleichzeitig freigesetzten Fluormengen aus der Dissoziation von NF₃ fallen gegenüber den Fluormengen aus den fluorliefernden Ätzgasen, beispielsweise ClF₃ oder BrF₃, kaum ins Gewicht und tragen außerdem zur Siliziumätzreaktion bei.

Die Passivierung der Strukturseitenwände im Prozeß wird gegenüber der Lehre der DE 197 06 682 C2 unverändert durch den zumindest zeitweiligen Zusatz von SiF₄ und einem Reaktionspartner, ausgewählt aus der Gruppe O₂, N₂O, NO, NO_x, CO₂, NO₂ oder N₂ zu dem Prozeßgas erreicht. Bevorzugt ist Sauerstoff.

Hinsichtlich der weiteren Prozeßparameter (insbesondere Gasflüsse, Prozeßdrücke, Ionenenergie und eingestrahlte Plasmaleistungen), sei auf die entsprechenden, bereits aus DE 197 06 682 C2 bekannten Parameter verwiesen, die weitgehend beibehalten werden können.

Eine bevorzugte Zusammensetzung des Prozeßgases ausgehend von dem aus DE 197 06 682 C2 bekannten Verfahren ist beispielsweise, durch folgende Rezepturen gegeben:

60 sccm ClF_3 + 50 sccm O_2 + 50 sccm SiF_4 + 70 sccm He + 5 sccm NF_3 bei konstanter Zugabe, 20 mTorr Druck, 1000 Watt Hochfrequenzleistung bei einer Frequenz von 13.56 MHz an der Plasmaquelle, 5 Watt bis 20 Watt Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode

oder:

100 sccm BrF_3 + 50 sccm O_2 + 50 sccm SiF_4 + 70 sccm He; zusätzliche Zugabe von 30 sccm NF_3 periodisch alle 30 bis 60 Sekunden, vorzugsweise alle 45 Sekunden über eine Zeitdauer von jeweils 5 Sekunden, Druck 20 mTorr, 1000 Watt Hochfrequenzleistung an der Plasmaquelle, 5 Watt bis 30 Watt Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung wird zunächst von einem Verfahren ausgegangen, wie es aus DE 42 41 045 C1 bekannt ist. In diesem bekannten Verfahren wird eine anisotrope Ätzung von Silizium mittels eines Plasmas, insbesondere mittels eines Mikrowellenplasmas oder eines über eine induktive Plasmaquelle erzeugten Plasmas, vorgenommen, wobei der anisotrope Ätzvorgang in separaten, jeweils alternierend aufeinanderfolgenden Ätz- und Polymerisations- bzw. Passivierschritten getrennt voneinander durchgeführt wird, welche unabhängig voneinander gesteuert sind. Dabei wird während der Polymerisationsschritte auf eine durch eine Ätzmaske definierte laterale Begrenzung von Strukturen ein Polymer aufgebracht, das während der nachfolgenden Ätzschritte jeweils wieder abgetragen wird.

Dazu wird dem Prozeßgas zumindest zeitweilig, insbesondere während der Ätzschritte, SF_6 als fluorlieferndes Ätzgas zugesetzt. Während der Polymerisationsschritte wird dem Prozeßgas weiter, insbesondere im Fall einer induktiv gekoppelten Plasmaquelle, Octafluorclobutan C_4F_8 oder Hexafluorpropen C_3F_6 als teflonbildende Monomere lieferndes Passiviergas zugesetzt. Dieses Passiviergas baut insbesondere auf den Seitenwänden der geätzten Strukturen als passivierendes Material einen teflonartigen Schutzfilm auf, der diese vor einem Ätzangriff durch Fluorradikale schützt.

Dieses in soweit an sich bekannte Verfahren wird erfindungsgemäß dadurch verbessert, daß dem Prozeßgas zusätzlich zumindest zeitweilig Helium in Form von He^4 oder He^3 zugesetzt wird, wobei dieser Zusatz entweder kontinuierlich sowohl während der Dauer der Ätzschritte, als auch während der Dauer der Passivierschritte erfolgt, da Helium als Inertgas die Prozeßchemie in keiner Weise beeinflußt. Durch die Zugabe des Heliums wird in beiden Schritten gewährleistet, daß unerwünschte Aufladungen reduziert und ein schädlicher Ioneneinfall auf die Seitenwände geätzter Strukturen, wie erläutert, permanent unterdrückt oder reduziert wird.

Alternativ kann der Heliumsatz jedoch auch nur während der Ätzschritte oder nur während der Polymerisations- bzw. Passivierschritte erfolgen, d. h. der Heliumfluß wird wie das Ätz- bzw. Passiviergas getaktet, wobei der Einsatz von Helium zweckmäßig speziell während der Ätzschritte zugesetzt wird, da es gerade beim Weiterätzen darauf ankommt, den Aufbau stärkerer Streufelder in den erzeugten Trenchgräben bereits im Entstehen wirksam zu unterdrücken. Bevorzugt wird das Helium in beiden Prozeßschritten durchgehend mit konstantem Gasfluß zugeführt.

Ein geeigneter Heliumgasfluß liegt üblicherweise zwischen 10 und 100 sccm, es sind aber auch kleinere oder insbesondere größere Flüsse möglich, je nach Saugleistung der angeschlossenen Turbomolekularpumpe der Ätzanlage.

Zur Unterstützung des Abtrags des passivierenden Materials vom Ätzgrund kann auch in diesem Fall zumindest zeitweise NF_3 als eine das passivierende Material verzehrende Substanz eingesetzt werden.

Eine bevorzugte Zusammensetzung des Prozeßgases im Fall der Plasmaerzeugung über eine induktiv gekoppelte Plasmaquelle (ICP-Quelle) ist beispielsweise, ausgehend von DE 42 41 045 C1, durch folgende Rezeptur gegeben:

5 Passivierschritt:
100 sccm C_3F_6 oder C_4F_8 + 50 sccm He über 5 Sekunden bei 12 mTorr Druck, 800 Watt Hochfrequenzleistung an der Plasmaquelle, keine Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode

10 Ätzschritt:
130 sccm SF_6 + 20 sccm O_2 + 50 sccm He über 9 Sekunden bei 20 mTorr Druck, 800 Watt Hochfrequenzleistung an der Plasmaquelle, 5 Watt bis 20 Watt Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode.

15 Weitere Ausführungsbeispiele für die Prozeßgaszusammensetzung, ausgehend von dem Verfahren gemäß DE 42 41 045 C2, sind gegeben durch die folgenden Rezepturen, bei denen in den Ätzschritten jeweils das fluorliefernde Ätzgas SF_6 durch ClF_3 oder BrF_3 ersetzt ist. Zusätzlich wird dem Prozeßgas in den Ätzschritten als das passivierende Teflonmaterial insbesondere vom Ätzgrund bevorzugt abtragendes Additiv zumindest zeitweise NF_3 zugesetzt. Die Verfahrensparameter in den Passivierschritten werden dabei gegenüber dem vorausgehenden Ausführungsbeispiel unverändert beibehalten.

20 Ätzschritt:
200 sccm ClF_3 + 10 sccm NF_3 + 50 sccm He über 10 Sekunden bei 20 mTorr Druck, 1000 Watt Hochfrequenzleistung an der Plasmaquelle, 5 Watt bis 20 Watt Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode

25 oder:
Ätzschritt:
200 sccm ClF_3 + 50 sccm He über 10 Sekunden bei 20 mTorr Druck, zusätzlich 30 sccm NF_3 während der ersten 3 Sekunden der Ätzschritte, 1000 Watt Hochfrequenzleistung an der Plasmaquelle, 5 Watt bis 20 Watt Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode.

30 Weitere Rezepturen setzen anstelle von NF_3 alternativ O_2 als das teflonartige, passivierende Material insbesondere vom Ätzgrund bevorzugt abtragende Additiv ein. Da Sauerstoff deutlich weniger aggressiv agiert als die im Plasma erzeugten NF_3 -Bruchstücke, muß dem Ätzgas zumindest zeitweise ein wesentlich höherer Sauerstofffluß zugesetzt werden.

35 40 Der deutlich geringere Sauerstoffanteil, der in einer vorstehenden Rezeptur dem SF_6 als Ätzgas zugesetzt worden war, diente dort nur zur Unterdrückung einer Schwefelausscheidung im Abgasbereich. Diese Schwefelausscheidung tritt jedoch bei der Verwendung von ClF_3 als Ätzgas nicht auf, so daß der dem ClF_3 zumindest vorübergehend zugesetzte Sauerstoffanteil voll für den Abtrag des passivierenden Materials insbesondere vom Ätzgrund zur Verfügung steht. Bei weiter hinsichtlich der Zusammensetzung und der Verfahrensparameter unveränderten Passivierschritten ergibt sich damit als weitere vorteilhafte Rezeptur für die Ätzschritte:

45 Ätzschritt:
250 sccm ClF_3 + 50 sccm He über 10 Sekunden, zusätzlich 100 sccm O_2 während der ersten 4 Sekunden, Druck 30 mTorr, 1200 Watt Hochfrequenzleistung an der Plasmaquelle, 5 Watt bis 30 Watt Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode

50 oder:
Ätzschritt:
200 sccm ClF_3 + 50 sccm He + 50 sccm O_2 über 10 Sekunden, Druck 30 mTorr, 1000 Watt Hochfrequenzleistung an der Plasmaquelle, 5 Watt bis 30 Watt Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode.

55 60

Hinsichtlich weiterer Prozeßparameter sei auf die entsprechenden, bereits aus DE 42 41 045 C1 bekannten Parameter verwiesen, die im übrigen weitgehend beibehalten werden können.

Sofern Wasserstoff als leichtes, leicht ionisierbares Gas dem Prozeßgas zugegeben werden soll, ist dieser Zusatz in einem Verfahren auf Basis der DE 42 41 045 C1 lediglich während der Passivierschritte möglich. Ein Wasserstoffzusatz zum Ätzgas würde mit den freigesetzten Fluorradikalen zu HF reagieren und diese dadurch neutralisieren, d. h. diese Fluorradikale stehen anschließend für eine Ätzreaktion mit Silizium nicht mehr zur Verfügung. Ferner besteht wegen des Sauerstoffanteils im Ätzschritt Explosionsgefahr durch Knallgasbildung im Abgasbereich der Ätzanlage. Schließlich muß der zugegebene Wasserstoff auch im Passivierschritt in der Passivierchemie berücksichtigt werden. Da das als Passiviergas in dem Prozeßgas zeitweilig, insbesondere während der Passivierschritte, eingesetzte Octafluorcyclobutan C_4F_8 oder Hexafluorpropen C_3F_6 durch Wasserstoffzusatz an Fluor verarmt, ist es in diesem Fall daher zweckmäßig, auf ein fluorreicheres Passiviergas auszuweichen. Dazu sind vor allem Perfluoralkane wie beispielsweise C_2F_6 , C_3F_8 oder bevorzugt C_4F_{10} geeignet.

Auf diese Weise wird über den Wasserstoffzusatz in den Passivierschritten einerseits ein überschüssiger Fluoranteil unter HF-Bildung gebunden und die gewünschte Polymerisationswirkung erreicht, und andererseits steht stets genügend Wasserstoff für eine Ionisationsreaktion zur Verfügung, um Aufladungerscheinungen zu reduzieren.

In Fall der Wasserstoffzugabe zum Prozeßgas geeignete Prozeßparameter sind beispielsweise, ausgehend von einem Verfahren nach Art der DE 42 41 045 C1, durch die folgende Rezeptur gegeben, wobei durch geeignete Maßnahmen im Abgasbereich sicherzustellen ist, daß keine Explosionsgefahr entsteht. Dazu ist beispielsweise eine an sich bekannte Vorrichtung zur katalytischen Wasserstoffumsetzung zwischen einer im Abgasbereich eingesetzten Turbomolekularpumpe und einer Drehschieberpumpe vorgesehen.

Passivierschritt:

100 sccm C_4F_{10} + 70 sccm H_2 über 5 Sekunden bei 40 12 mTorr Druck, 800 Watt Hochfrequenzleistung der Plasmaquelle, keine Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode.

Ätzschritt:

130 sccm SF_6 + 20 sccm O_2 über 9 Sekunden bei 45 20 mTorr Druck, 800 Watt Hochfrequenzleistung an der Plasmaquelle, 5 Watt bis 20 Watt Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode.

Eine weitere Rezeptur sieht bei gegenüber dem Vorstehenden unveränderten Passivierschritten vor, SF_6 als fluorlieferndes Ätzgas durch BrF_3 zu ersetzen, dem als das passivierende Teflonmaterial insbesondere vom Ätzgrund bevorzugt abtragendes Additiv zumindest zeitweise NF_3 zugesetzt wird.

Ätzschritt:

150 sccm BrF_3 + 50 sccm Ar oder Helium (als inertes Trägergas) + 10 sccm NF_3 über 10 Sekunden, 25 mTorr Druck, 1500 Watt Hochfrequenzleistung an der Plasmaquelle, 5 Watt bis 30 Watt Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode.

Durch die durch die Helium- oder Wasserstoffzugabe erreichte Unterdrückung von Profilabweichungen ist es im übrigen ohne weiteres zusätzlich möglich, nun höhere Siliziumätzraten zu erreichen, indem die Leistungsparameter des eingesetzten Plasmaätzprozesses, insbesondere der Plasmaquelle, beispielsweise von 800 Watt auf bis zu 3000 Watt hochskaliert werden.

Durch den erfundungsgemäßen Prozeßgaszusatz von ins-

besondere He oder H_2 wird schließlich auch die Selektivität zwischen dem Seitenwandpolymerfilmabtrag und Ätzgrundpolymerabtrag während der Ätzschritte dahingehend verbessert, daß der Ätzgrundpolymerabtrag beschleunigt und der Seitenwandpolymerfilmabtrag reduziert wird. Dies ist eine Folge der bevorzugten Ablenkung leichter Ionen zur Seitenwand, während schwere Ionen ungehindert den Ätzgrund erreichen.

Die Zugabe des leichten und leicht zu ionisierenden Gases wie H_2 , Ne oder bevorzugt He wird umso wirksamer, je niedriger die Frequenz der Substratelektrodenspannung an der Substratelektrode ist, da die leichten Ionen aufgrund ihrer geringeren Trägheit zunehmend der elektrischen Feldvariation folgen können. Das Anlegen einer hochfrequenten Substratelektrodenspannung über einen Substratspannungsgenerator (Bias Power) an das zu ätzende Substrat ist an sich bekannt und dient üblicherweise zur Beschleunigung von im Plasma erzeugten Ionen auf das Substrat.

Im erläuterten Beispiel wird die eingesetzte hochfrequente Substratspannung dazu in ihrer Frequenz beispielsweise von üblichen 13,56 MHz auf weniger als 2 MHz verringert. Damit wirkt sich der Massenunterschied des leichten Gasbestandteils im Vergleich zu den übrigen Bestandteilen des Ätzgases besonders stark aus.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Plasmaätzen, insbesondere zum anisotropen Plasmaätzen, von lateral definierten Strukturen in einem Siliziumsubstrat, mit einem Prozeßgas, wobei vor und/oder während des Ätzens zumindest auf den Seitenwänden von lateral definierten Strukturen zumindest zeitweilig mindestens ein passivierendes Material abgeschieden wird, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweise ein fluorlieferndes Ätzgas zugegeben wird, das mindestens eine der Verbindungen, ausgewählt aus der Gruppe ClF_3 , BrF_3 oder IF_5 enthält.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas weiterhin zumindest zeitweilig als ein das passivierende Material bildendes Gas mindestens ein Gas ausgewählt aus der Gruppe SiF_4 , C_4F_8 , C_3F_6 , C_4F_{10} , C_3F_8 oder C_2F_6 zugesetzt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig mindestens ein Gas, ausgewählt aus der Gruppe O_2 , N_2O , NO , NO_x , CO_2 , Ar , NO_2 oder N_2 zugesetzt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig mindestens ein das passivierende Material, insbesondere SiO_2 oder ein teflonartiges Material, verzehrendes Additiv, insbesondere CHF_3 , CF_4 , C_2F_6 , C_3F_6 , C_4F_8 , C_4F_{10} , C_3F_8 , ein Fluoralkan oder NF_3 zugesetzt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig ein leichtes und leicht zu ionisierendes Gas, insbesondere H_2 , He oder Ne, zugesetzt wird.

6. Verfahren zum Plasmaätzen, insbesondere zum anisotropen Plasmaätzen, von lateral definierten Strukturen in einem Siliziumsubstrat, mit einem Prozeßgas, wobei vor und/oder während des Ätzens zumindest auf den Seitenwänden von lateral definierten Strukturen zumindest zeitweilig mindestens ein passivierendes Material abgeschieden wird, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig als ein das passivierende Material, insbesondere SiO_2 oder ein teflonartiges Material, verzehrendes Additiv NF_3 zugesetzt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig ein fluorlieferndes Ätzgas zugegeben wird, das mindestens eine der Verbindungen, ausgewählt aus der Gruppe SF_6 , ClF_3 , BrF_3 oder IF_5 enthält.

6. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas weiterhin zumindest zeitweilig als ein das passivierende Material bildendes Gas mindestens ein Gas ausgewählt aus der Gruppe SiF_4 , C_4F_8 , C_3F_6 , C_4F_{10} , C_3F_8 oder C_2F_6 zugesetzt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig mindestens ein Gas, ausgewählt aus der Gruppe O_2 , N_2O , NO , NO_x , CO_2 , Ar , NO_2 oder N_2 zugesetzt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig ein leichtes und leicht zu ionisierendes Gas, insbesondere H_2 , He oder Ne , zugesetzt wird.

11. Verfahren zum Plasmaätzen, insbesondere zum anisotropen Plasmaätzen, von lateral definierten Strukturen in einem Siliziumsubstrat, mit einem Prozeßgas, wobei vor und/oder während des Ätzens auf den Seitenwänden von lateral definierten Strukturen zumindest zeitweilig mindestens ein passivierendes Material abgeschieden wird, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig ein leichtes und leicht ionisierbares Gas, insbesondere H_2 , He oder Ne , zugesetzt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig ein fluorlieferndes Ätzgas zugegeben wird, das mindestens eine der Verbindungen, ausgewählt aus der Gruppe SF_6 , ClF_3 , BrF_3 oder IF_5 enthält.

13. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas weiterhin zumindest zeitweilig als ein das passivierende Material bildendes Gas mindestens ein Gas ausgewählt aus der Gruppe SiF_4 , C_4F_8 , C_3F_6 , C_4F_{10} , C_3F_8 oder C_2F_6 zugesetzt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig mindestens ein Gas, ausgewählt aus der Gruppe O_2 , N_2O , NO , NO_x , CO_2 , Ar , NO_2 oder N_2 zugesetzt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig mindestens ein das passivierende Material, insbesondere SiO_2 oder ein teflonartiges Material verzehrendes Additiv, insbesondere CHF_3 , CF_4 , C_2F_6 , C_3F_6 , C_4F_8 , C_4F_{10} , C_3F_8 , ein Fluoralkan oder NF_3 zugesetzt wird.

16. Verfahren zum Plasmaätzen, insbesondere zum anisotropen Plasmaätzen, von lateral definierten Strukturen in einem Siliziumsubstrat, mit einem Prozeßgas, wobei vor und/oder während des Ätzens auf den Seitenwänden von lateral definierten Strukturen zumindest zeitweilig mindestens ein passivierendes Material abgeschieden wird, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweise ein fluorlieferndes Ätzgas zugegeben wird, das mindestens eine der Verbindungen, ausgewählt aus der Gruppe ClF_3 , BrF_3 oder IF_5 enthält, daß dem Prozeßgas weiterhin zumindest zeitweilig als ein das passivierende Material verzehrendes Additiv NF_3 zugesetzt wird, und daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig ein leichtes und leicht ionisierbares Gas, insbesondere H_2 , He oder Ne , zugesetzt wird.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas weiterhin zumindest zeitweilig mindestens ein das passivierende Material bildendes Gas, ausgewählt aus der Gruppe SiF_4 , C_4F_8 ,

C_3F_6 , C_4F_{10} , C_3F_8 oder C_2F_6 zugesetzt wird.

18. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig mindestens ein Gas, ausgewählt aus der Gruppe O_2 , N_2O , NO , NO_x , CO_2 , Ar , NO_2 oder N_2 zugesetzt wird.